

BEST AVAILABLE COPY

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-113448

(43)Date of publication of application : 18.04.2003

(51)Int.Cl.

C22C 38/00
C22C 38/38
C22C 38/58
F16C 33/32
F16C 33/62

(21)Application number : 2001-310551

(71)Applicant : NIPPON KOSHUHA STEEL CO
LTD

(22)Date of filing : 05.10.2001

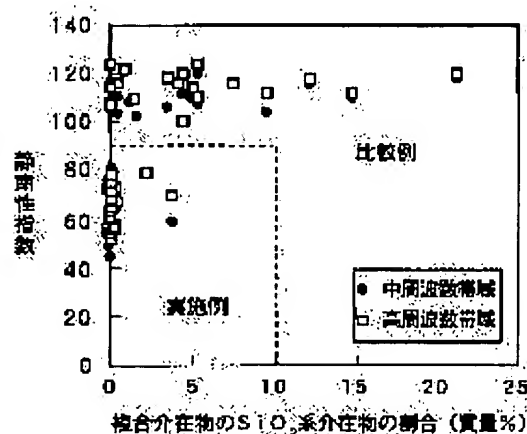
(72)Inventor : TAKASHIMA TOSHIAKI
MIZUNO YUKITAKA

(54) STEEL FOR BEARING SUPERIOR IN SILENT PROPERTY

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a steel for bearing superior in a silent property, which stably provides a satisfactory silence property and an acoustic feature.

SOLUTION: This steel for bearing improves the acoustic feature and silent property by controlling a composition of oxides in the steel. Specifically, the steel is improved in the acoustic feature and the silent property by controlling the contents of Al₂O₃ to 60 to 90 mass%, the contents of MgO to 10 to 30 mass%, the contents of SiO₂ to 10 mass% or less, and the contents of CaO to 10 mass% or less.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 05.10.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 17.08.2004

[Kind of final disposal of application other than
the examiner's decision of rejection or
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] C:0.6 thru/or 1.2 mass %, Si:0.1, or 2.0 mass %, Mn:0.1, or 2.0 mass %, Cr:0.8 thru/or 14.0 mass % and below aluminum:0.04 mass % are contained. The remainder consists of Fe and an unescapable impurity, and the content of Ti in said unescapable impurity is regulated below at 0.0015 mass %. The content of O is regulated below at 0.0012 mass %, and the rate of the mass of aluminum₂O₃ system inclusion to the gross mass of inclusion 60 thru/or 90%, Steel for bearing excellent in the silence to which the rate of the mass of MgO system inclusion is characterized by being the compound inclusion of the spinel system whose percentage of the mass of 10% or less and CaO system inclusion the percentage of the mass of SiO₂ system inclusion is 10% or less 10 thru/or 30%.

[Claim 2] Steel for bearing excellent in the silence according to claim 1 characterized by Cr content being 10.0 thru/or 14.0 mass %.

[Claim 3] Steel for bearing excellent in the silence according to claim 1 or 2 characterized by overall diameter root AREA_{max} of the oxide system inclusion presumed when prediction area is set to 2 30000mm in extremal-value Statistics Law being 30 micrometers or less.

[Claim 4] Furthermore, steel for bearing the silence of a publication excelled [steel] in claim 1 characterized by containing at least one sort of elements chosen from the group which consists of nickel:0.1 thru/or 2.0 mass %, Cu:0.1, or 1.0 mass %, Mo:0.1, or 2.0 mass %, V:0.05, or 1.0 mass % and Nb:0.01 thru/or 1.0 mass % thru/or any 1 term of 3.

[Claim 5] Steel for bearing the silence of a publication excelled [steel] in claim 1 to which the content of the aluminum₂O₃ system inclusion in said oxide system inclusion is characterized by the content of 15 thru/or 30 mass % and SiO₂ system inclusion being [the content of below 2.5 mass % and CaO system inclusion] below 5 mass % for the content of 70 thru/or 85 mass % and MgO system inclusion thru/or any 1 term of 4.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the steel for bearing excellent in the silence especially used for anti-friction bearing of precision mechanical equipments, such as an air conditioner, a disk drive of a computer, a videocassette recorder, and audio equipment, etc. about the steel for bearing excellent in the suitable silence for anti-friction bearing like roller bearing and a ball bearing.

[0002]

[Description of the Prior Art] There are silence and an acoustic feature as an index which shows the little of the noise made by vibration generated while the rolling equipment of anti-friction bearing and others operates. A machine tool and a construction equipment require high silence and a high acoustic feature in the comparatively small ball bearing used for the precision mechanical equipment which dislikes vibration of a hard disk drive (HDD), a video tape recorder (VTR), etc. to the degree of pole, for example, although the lowness of silence and an acoustic feature does not become a problem so much. Especially, in the small ball bearing, since the load load is not so large, fatigue properties, such as a rolling fatigue life, are seldom thought as important, but importance is attached to the silence and the sound engine performance at the time of rotation, and the research and development about this are performed variously conventionally.

[0003] It is two kinds of degradation of the acoustic feature in early stages of use, and the acoustic feature by secular change in use which attract attention also especially among the silence of the steel for bearing, and an acoustic feature. The acoustic feature in early stages of use is greatly influenced by the geometrical finishing precision of bearing parts. And as for the factor which influences this finishing precision greatly, hardness of a base is the number and magnitude of the nonmetallic inclusion and eutectic carbide which are remarkably different in respect of an ingredient. Moreover, even if the acoustic feature in early stages of use is satisfactory level, while being used as bearing parts, the wear difference produced between a base, nonmetallic inclusion, and eutectic carbide causes precision degradation of the shape of surface type, surface roughness, etc., and an acoustic feature in use falls.

[0004] The limitation of the magnitude and an amount is indicated by JP,11-241148,A about eutectic carbide. However, a steel-manufacture technique progresses and the effect eutectic carbide affects an acoustic feature by development of the manufacture approach of carrying out control and the soaking of the magnitude of a steel ingot is comparatively small in recent years with the steel materials containing C:0.6 thru/or 1.2 mass % and Cr:0.8 thru/or 14.0 mass %.

[0005] On the other hand, it is well-known that nonmetallic inclusion is harmful to many properties, such as a rolling fatigue life of bearing parts, and in order to reduce inclusion, many steel materials which controlled contents, such as O or Ti, are indicated. Moreover, by specifying the number of nonmetallic inclusion, magnitude, and a presentation, specifying the presentation of the oxide system inclusion which exists in steel as JP,3-79741,A, and adjusting the content of the oxide system inclusion after processing to it as what aimed at improvement in a rolling life property, even if it does not make a minute amount reduce O content extremely, the steel for bearing whose rolling fatigue property

improves is indicated.

[0006] Moreover, although it is indicated by JP,3-126839,A that a rolling fatigue life improves by controlling the particle diameter and the number of oxide system inclusion, the relation between silence and an acoustic feature is not described.

[0007] The relation between the number of nonmetallic inclusion and magnitude, silence, and an acoustic feature is indicated by JP,11-279710,A, for example. It is indicated by when the content of aluminum 2O3 with it difficult [to influence silence and an acoustic feature most greatly as a factor by the side of the steel materials of bearing parts, and to control in the production process of steel materials in this official report,] grasps exactly the magnitude, the hard number, and hard abundance ratio of oxide system inclusion more than 50% mass and specifically controls them that the silence and the acoustic feature of bearing parts can be raised. And it is indicated that such inclusion appears on the front face of a rolling equipment component with the hard oxide system inclusion more than 50% mass when steel for bearing with which many big and rough things exist is used as a material of bearing parts, the content of aluminum 2O3 worsens the precision of finish-machining, and an acoustic feature deteriorates. Moreover, even if the acoustic feature in early stages of use is satisfactory level, while being used as bearing parts as mentioned above, it is also indicated that a wear difference arises, cause precision degradation of the shape of surface type, surface roughness, etc., and an acoustic feature in use falls between a base and hard nonmetallic inclusion.

[0008] Thus, also in nonmetallic inclusion, oxide system inclusion has many the numbers, and in a production process, since the control is difficult, it affects silence and an acoustic feature greatly.

[0009]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, there are little invention and research which paid their attention to the number and magnitude of nonmetallic inclusion about the silence and the acoustic feature of the steel for bearing. Moreover, even if it pays its attention to the number and magnitude of nonmetallic inclusion, there is nothing that clarified relation between a presentation and silence of nonmetallic inclusion, and an acoustic feature. For this reason, in the present condition that the further improvement in silence and an acoustic feature is called for, there is a trouble that the steel for bearing which can meet such a demand does not exist.

[0010] This invention is made in view of this trouble, and it aims at offering the steel for bearing excellent in the silence which is stabilized and can acquire good silence and a good acoustic feature.

[0011]

[Means for Solving the Problem] The steel for bearing excellent in the silence concerning this invention C:0.6 thru/or 1.2 mass %, Si:0.1 thru/or 2.0 mass %, Mn:0.1, or 2.0 mass %, Cr:0.8, or 14.0 mass % and below aluminum:0.04 mass % are contained. The remainder consists of Fe and an unescapable impurity, and the content of Ti in said unescapable impurity is regulated below at 0.0015 mass %. The content of O is regulated below at 0.0012 mass %, and the rate of the mass of aluminum2O3 system inclusion to the gross mass of inclusion 60 thru/or 90%, The rate of the mass of MgO system inclusion is characterized by the rate of the mass of SiO2 system inclusion being the compound inclusion of the spinel system whose percentage of the mass of 10% or less and CaO system inclusion is 10% or less 10 thru/or 30%. In addition, the content of aluminum 2O3 says the oxide system inclusion more than 98 mass %, the content of MgO says the oxide system inclusion more than 98 mass %, the content of SiO2 says the oxide system inclusion more than 98 mass %, and, as for aluminum2O3 system inclusion, the content of CaO says [SiO2 system inclusion] the oxide system inclusion more than 98 mass % for MgO system inclusion, as for CaO system inclusion.

[0012] In addition, it is desirable for Cr content to be 10.0 thru/or 14.0 mass %, and it is desirable for overall diameter rootAREAm_{ax} of the oxide system inclusion presumed when prediction area is set to 2 30000mm in extremal-value Statistics Law to be 30 micrometers or less.

[0013] Furthermore, at least one sort of elements chosen from the group which consists of nickel:0.1 thru/or 2.0 mass %, Cu:0.1, or 1.0 mass %, Mo:0.1, or 2.0 mass %, V:0.05, or 1.0 mass % and Nb:0.01 thru/or 1.0 mass % may be contained.

[0014] Furthermore, it is desirable for the content of 15 thru/or 30 mass % and SiO2 system inclusion to

be [the content of the aluminum $2O_3$ system inclusion in said oxide system inclusion / for the content of below 2.5 mass % and CaO system inclusion] below 5 mass % for the content of 70 thru/or 85 mass % and MgO system inclusion again.

[0015] As a result of an invention-in-this-application person's etc. repeating experiment research wholeheartedly that said technical problem should be solved, to the oxide system inclusion which exists in steel materials Since a mixed part of the refractories which carried out the erosion at the contamination or the steel-manufacture process of the nonmetallic inclusion which O combines with aluminum, Si, calcium, Mg, or Mn, and can do it, and a slag etc. is contained, There were very little the amount and the number of oxide system inclusion (for example, aluminum $2O_3$, MgO and SiO_2 , or CaO) of a simple presentation, and the knowledge of a great portion of oxide system inclusion being the compound inclusion which these compounded and generated was carried out.

[0016] And the invention-in-this-application person etc. found out that an acoustic feature and silence could be raised by analyzing the presentation of the nonmetallic inclusion which exists in the steel for bearing, and controlling the presentation of oxide system compound inclusion, as a result of inquiring wholeheartedly about the effect the presentation of nonmetallic inclusion affects an acoustic feature and silence. When the compound inclusion which uses as a principal component aluminum $2O_3$ to which the content of SiO_2 system inclusion exceeded 10 mass %, or the content of CaO system inclusion is specifically over 10 mass % existed, an acoustic feature and silence found out falling remarkably.

[0017] Furthermore, an invention-in-this-application person etc. makes the content of aluminum $2O_3$ system inclusion 60 thru/or 90 mass %. By making the content of MgO system inclusion into 10 thru/or 30 mass %, making the content of SiO_2 system inclusion below into 10 mass %, and making the content of CaO system inclusion below into 10 mass % By setting to 30 micrometers or less overall diameter rootAREAm_{ax} of the oxide system inclusion presumed when an acoustic feature and silence can be raised further and prediction area is set to 2 30000mm in extremal-value Statistics Law Furthermore, it found out that an acoustic feature and silence could be raised.

[0018]

[Embodiment of the Invention] The chemical entity hereafter contained in the steel for bearing concerning this invention and its reason for presentation limitation are explained.

[0019] C: 0.6 thru/or 1.2 mass %C are indispensable elements, in order to increase hardening hardness, to maintain a room temperature or hot reinforcement and to give abrasion resistance. Hardening hardness is insufficient in C content being under 0.6 mass %, and abrasion resistance cannot be maintained. On the other hand, if C content exceeds 1.2 mass %, in order that the huge eutectic carbide which cannot diffuse the soaking of long duration, either may generate, not only the silence of bearing parts but grindability, formability in cold forging, and machinability fall. Therefore, C content is made into 0.6 thru/or 1.2 mass %.

[0020] Si: 0.1 thru/or 2.0 mass %Si are elements required for the deoxidation in a steel-manufacture process, and has the effectiveness which increases abrasion resistance and reinforcement. Such effectiveness is not acquired as Si content is under 0.1 mass %. On the other hand, if Si content exceeds 2.0 mass %, formability in cold forging and machinability will fall. Therefore, Si content is made into 0.1 thru/or 2.0 mass %.

[0021] Mn: 0.1 thru/or 2.0 mass %Mn are elements which raise hardenability and increase reinforcement. Such effectiveness is not acquired as Mn content is under 0.1 mass %. On the other hand, if Mn content exceeds 2.0 mass %, retained austenite will increase, and reinforcement will fall conversely, and secular change of a dimension will be caused. Therefore, Mn content is made into 0.1 thru/or 2.0 mass %.

[0022] Cr: 0.8 thru/or 14.0 mass %Cr are an element which gives corrosion resistance and thermal resistance while raising reinforcement and hardenability. Moreover, Cr is connected with C, forms detailed carbide, and raises abrasion resistance. Such effectiveness is not acquired as Cr content is under 0.8 mass %. On the other hand, if Cr content exceeds 14.0 mass %, huge eutectic carbide will generate. Therefore, Cr content is made into 0.8 thru/or 14.0 mass %.

[0023] In addition, within the limits of 0.8 thru/or 14.0 mass %, corrosion resistance improves gradually,

so that Cr content increases. And in bearing parts, the corrosion resistance demanded by the application differs greatly. For example, when extraordinarily high corrosion resistance is not required for the usual application, 0.8 thru/or 2.0 mass % are enough as Cr content. In this case, reinforcement and hardenability improve by addition of Cr. Moreover, as for Cr content, in the precision mechanical equipment of the portability used in the bearing parts or the seashore district which attaches like the ball bearing the application as which high corrosion resistance high enough is required, for example, for HDD, is sometimes degreased completely, and needs to eliminate generating of rust henceforth, it is desirable that it is 10.0 thru/or 14.0 mass %. What is necessary is just to choose Cr content in the range of these middle Cr contents according to the application of bearing parts. In addition, since a manufacturing cost also rises so that Cr content increases, it is desirable to choose Cr content based on the balance of the corrosion resistance and cost which are demanded.

[0024] aluminum: Below 0.040 mass % aluminum is an element indispensable to deoxidation in a steel-manufacture process, and the addition is required for it in order to regulate O content. If aluminum content exceeds 0.04 mass %, oxide system inclusion with the high content of aluminum $2O_3$ will be generated so much. Therefore, aluminum content is made below into 0.040 mass %.

[0025] Ti: In order to generate TiN whose regulation Ti is hard nonmetallic inclusion below at 0.0015 mass % and to reduce silence and an acoustic feature, the direction with few the content is desirable. If Ti content is below 0.0015 mass %, it approves, but if it is exceeded, the fall of silence and an acoustic feature will become remarkable. Therefore, Ti content is made below into 0.0015 mass %.

[0026] O: In order for Regulation O to generate oxide system inclusion and to reduce silence and an acoustic feature below to 0.0012 mass %, the direction with few the content is desirable. If O content is below 0.0012 mass %, it approves, but if it is exceeded, the fall of silence and an acoustic feature will become remarkable. Therefore, O content is made below into 0.0012 mass %.

[0027] Moreover, the following component elements may be added further if needed.

[0028] nickel: While raising hardenability and making a hardening depth deep, there is effectiveness of improving toughness and ductility in 0.1 thru/or 2.0 mass %nickel. Such effectiveness is not acquired as nickel content is under 0.1 mass %. On the other hand, if nickel content exceeds 2.0 mass %, the amount of retained austenite will be made to increase, secular change in use to bearing parts will be caused, and an acoustic feature will be degraded. Therefore, as for nickel content, it is desirable that it is 0.1 thru/or 2.0 mass %.

[0029] Cu: 0.1 thru/or 1.0 mass %Cu are elements which raise hardenability and corrosion resistance. Such effectiveness is not acquired as Cu content is under 0.1 mass %. On the other hand, if Cu content exceeds 1.0 mass %, red shortness will be promoted and hot-working nature will be reduced. Therefore, as for Cu content, it is desirable that it is 0.1 thru/or 1.0 mass %.

[0030] Mo: 0.1 thru/or 2.0 mass %Mo are an element which raises corrosion resistance and abrasion resistance while raising hardenability. Such effectiveness is not acquired as Mo content is under 0.1 mass %. On the other hand, if Mo content exceeds 2.0 mass %, while generating M_6C carbide so much and saturating ** or effectiveness, silence and an acoustic feature are degraded. Therefore, as for Mo content, it is desirable that it is 0.1 thru/or 2.0 mass %.

[0031] V:0.05 thru/or 1.0 mass %V are an element which raises abrasion resistance and thermal resistance while it generates detailed VC carbide and makes crystal grain detailed. Such effectiveness is not acquired as V content is under 0.05 mass %. On the other hand, if V content exceeds 1.0 mass %, VC carbide will make it big and rough, and silence and an acoustic feature will be degraded. Therefore, as for V content, it is desirable that it is 0.05 thru/or 1.0 mass %.

[0032] Nb: 0.01 thru/or 1.0 mass %Nb generate detailed NbC carbide, and makes crystal grain detailed. This effectiveness is not acquired as Nb content is under 0.01 mass %. On the other hand, if Nb content exceeds 1.0 mass %, NbC carbide will make it big and rough, and silence and an acoustic feature will be degraded. Therefore, as for Nb content, it is desirable that it is 0.01 thru/or 1.0 mass %.

[0033] Furthermore, in this invention, it is desirable for overall diameter rootAREAm_{ax} of the oxide system inclusion presumed when prediction area is set to 2 30000mm in extremal-value Statistics Law to be 30 micrometers or less. If overall diameter rootAREAm_{ax} exceeds 30 micrometers, a finish system

will fall and it will become easy for an acoustic feature to fall in connection with this.

[0034] In addition, extremal-value Statistics Law is an approach of presuming magnitude rootAREAm_{ax} of the maximum inclusion which exists in the area of arbitration by measuring the magnitude of the biggest thing out of the inclusion in a certain unit area S₀ from two or more test pieces, and plotting it to an extremal-value probability paper, and it is used for inclusion evaluation of mass-production material.

[0035] Next, the number of O content and Ti content, and nonmetallic inclusion and relation with magnitude are explained. Since the inclusion generated from Ti about Ti is mostly limited to TiN, it can arrange by comparatively simple relation. That is, a certain amount of correlation is accepted between the number of Ti content and Ti system nonmetallic inclusion, and magnitude, and the number of Ti system nonmetallic inclusion and presumption of magnitude are possible to some extent from the analysis value of Ti content. On the other hand, about O, it combines with aluminum, Si, calcium, Mg, Mn, etc., and the nonmetallic inclusion of varieties is generated from O. Furthermore, since a mixed part of the refractories which carried out the erosion at a part for contamination and the steel-manufacture process of a slag etc. is contained in oxide system inclusion, for this reason, in the high steel for bearing of cleanliness with which O content is regulated below at 0.0012 mass %, a correlation hardly exists between O content, the presentation of nonmetallic inclusion, a number, and magnitude. This is indicated by an ingredient, a process, and "4 (1991), 321". [an ingredient, a process, "4 (1991), 1178", and] Therefore, evaluation of the nonmetallic inclusion in the steel for bearing must be performed by measuring the presentation, a number, and magnitude by the optimal approach directly.

[0036] So, in this invention, maximum inclusion size rootAREAm_{ax} which used extremal-value Statistics Law is limited. And in presumption of overall diameter rootAREAm_{ax} by extremal-value Statistics Law in this invention, the magnitude of the greatest oxide system inclusion in the square visual field that the length of one side is 10cm using an optical microscope is measured with 20 visual fields per each test specimen, making it an inspection visual field not overlap, and the magnitude of the maximum inclusion when setting anticipation area to 2 30000mm is presumed.

[0037] In addition, in this invention, it is required to be the compound inclusion of a spinel system with which, as for oxide system inclusion 15 micrometers or more, particle size fills the following conditions. This is based on the following reason. When the steel whose inclusion is a base completely tends to differ in a mechanical property and steel tends to deform it in response to stress, this inclusion does not deform but a crack produces it on a base near the tip of inclusion. If repeated stress joins an ingredient in such the condition, a crack will progress gradually and it will result in destruction soon. Oxide system inclusion has the largest effect also in inclusion to such a rolling fatigue life. Moreover, oxide system inclusion also affects silence. Therefore, there is no big and rough inclusion into a base, and it is desirable that there is little the number.

[0038] Moreover, the inclusion with the high content of SiO₂, MgO, or CaO has high possibility of existing by mixing or the contamination from a slag of refractories or brick, and it is not the inclusion refined during the dissolution. When such inclusion appears on the surface of steel materials, inclusion exfoliates or is easily missing and a crack or a hole remains. Consequently, a fatigue life or a sound life will be reached at an early stage. Moreover, since inclusion serves as an origin of fatigue breaking even when such inclusion exists in the interior, a fatigue life or a sound life will be reached at an early stage. Furthermore, when oxide system inclusion exists in steel, it has big effect a rolling fatigue life, a mechanical property, and in the shape of front planarity. Then, in order to reduce inclusion conventionally, cleanliness is raised by refinement, such as slag deoxidation and degasifying. Although an oxygen density can be lowered and the amount of inclusion in steel can be reduced by such approach, it cannot necessarily remove completely and silence cannot say that it is sufficiently low in the steel obtained by the conventional approach. On the other hand, as shown below, a good acoustic feature and silence are acquired by specifying the rate of inclusion appropriately.

[0039] The rate of the mass of aluminum₂O₃ system inclusion: If the rate of the mass of aluminum₂O₃ system inclusion to the gross mass of 60 thru/or 90% inclusion exceeds 90%, large-sized inclusion will become is easy to be formed. On the other hand, the rate of other oxide system inclusion, for example,

SiO₂ system inclusion, CaO system inclusion, etc. becomes it high relatively that the percentage of the mass of aluminum₂O₃ system inclusion is less than 60%, and large-sized inclusion becomes is easy to be formed. Therefore, the rate of the mass of aluminum₂O₃ system inclusion to the gross mass of inclusion is made into 60 thru/or 90%. As for especially the rate of the mass of aluminum₂O₃ system inclusion, it is desirable that they are 70 thru/or 85%.

[0040] The rate of the mass of MgO system inclusion: The contamination of refractories generates that to which the rate of the mass of MgO system inclusion to the gross mass of 10 thru/or 30% inclusion exceeds 30%, and it tends to be missing. On the other hand, the rate of the mass of MgO system inclusion does not become a spinel system for it to be less than 10%, but large-sized inclusion becomes is easy to be formed. Therefore, the rate of the mass of MgO system inclusion to the gross mass of inclusion is made into 10 thru/or 30%. As for especially the rate of the mass of MgO system inclusion, it is desirable that they are 15 thru/or 30%.

[0041] The rate of the mass of SiO₂ system inclusion: That to which the rate of the mass of SiO₂ system inclusion to the gross mass of 10% or less inclusion exceeds 10% generates [the contamination of refractories] and is big and rough. Therefore, the rate of the mass of SiO₂ system inclusion to the gross mass of inclusion is made into 10% or less. As for especially the rate of the mass of SiO₂ system inclusion, it is desirable that it is 2.5% or less.

[0042] The rate of the mass of CaO system inclusion: That to which the rate of the mass of CaO system inclusion to the gross mass of 10% or less inclusion exceeds 10% generates [the contamination of refractories] and is big and rough. Therefore, the rate of the mass of CaO system inclusion to the gross mass of inclusion is made into 10% or less. As for especially the rate of the mass of CaO system inclusion, it is desirable that it is 0.5% or less.

[0043] The presentation of such oxide system inclusion can be specified by carrying out quantitative analysis using an energy dispersive X-ray analyzer.

[0044]

[Example] Hereafter, the example of this invention is concretely explained as compared with the example of a comparison from which it separates from the claim.

[0045] First, the steel materials of the example of the presentation shown in Tables 1 and 2 and the example of a comparison were produced. After these steel materials offered as a sample refined molten steel and carried out degasifying processing, ingot making of them was carried out, it was the purpose which diffuses huge carbide, and after they performed the soaking of 3 hours at 1230 degrees C, they produced the wire rod the bar whose diameter is 25mm, and whose diameter are 5.5mm with hot rolling. Furthermore, after holding at 790 thru/or 900 degrees C for 1 hour and cooling slowly at 15 degrees C/o'clock or less in rate to 600 degrees C, spheroidizing was carried out by carrying out air cooling. In addition, P and S in Table 1 and 2 are an unescapable impurity. Moreover, it is shown that the element does not contain "-" in Table 1 and 2.

[0046]

[Table 1]

	No.	鋼材の組成													
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Ti	O	Ni	Cu	Mo	V	Nb
実施例	1	1.00	0.24	0.45	0.013	0.004	1.44	0.022	0.0008	0.0005	—	—	—	—	—
	2	1.02	0.40	0.45	0.022	0.002	1.00	0.015	0.0012	0.0004	—	—	—	—	—
	3	0.98	0.83	0.33	0.017	0.003	1.33	0.020	0.0011	0.0008	—	—	—	—	—
	4	1.03	1.00	0.98	0.012	0.002	1.05	0.018	0.0010	0.0005	—	—	—	—	—
	5	0.78	0.24	0.60	0.009	0.005	5.30	0.017	0.0010	0.0007	—	—	—	—	—
	6	0.90	0.12	0.80	0.010	0.005	7.34	0.022	0.0012	0.0010	—	—	—	—	—
	7	0.69	0.13	0.25	0.025	0.002	8.60	0.024	0.0009	0.0009	—	—	—	—	—
	8	0.90	0.50	0.55	0.015	0.003	9.12	0.020	0.0009	0.0010	—	—	—	—	—
	9	1.05	0.25	0.45	0.019	0.003	10.33	0.015	0.0008	0.0011	—	—	—	—	—
	10	0.77	0.30	0.30	0.020	0.004	12.70	0.018	0.0012	0.0006	—	—	—	—	—
	11	1.02	1.05	0.38	0.021	0.002	13.70	0.024	0.0011	0.0008	—	—	—	—	—
	12	0.99	0.33	0.28	0.030	0.003	0.90	0.027	0.0010	0.0007	0.30	—	—	—	—
	13	1.12	0.40	0.65	0.021	0.002	1.40	0.019	0.0009	0.0006	1.80	—	0.15	—	—
	14	0.84	1.80	0.30	0.015	0.002	3.96	0.025	0.0012	0.0006	—	0.15	—	0.50	—
	15	0.80	0.50	0.48	0.012	0.004	4.20	0.022	0.0011	0.0006	—	—	1.90	—	—
	16	0.76	0.24	0.29	0.007	0.002	6.66	0.026	0.0010	0.0008	—	—	—	—	0.60
	17	0.98	0.36	0.32	0.019	0.006	8.26	0.020	0.0009	0.0007	—	0.88	—	—	—
	18	0.80	0.50	0.30	0.020	0.002	10.23	0.024	0.0012	0.0008	—	0.35	—	—	—
	19	0.87	0.33	0.45	0.021	0.003	12.56	0.023	0.0014	0.0010	—	—	1.02	0.13	—
	20	1.02	0.28	0.30	0.016	0.002	13.70	0.020	0.0011	0.0011	—	—	—	0.87	0.05

[0047]

[Table 2]

	No.	鋼材の組成													
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Ti	O	Ni	Cu	Mo	V	Nb
比較例	21	0.88	0.21	0.37	0.015	0.002	1.44	0.018	0.0025	0.0012	—	—	—	—	—
	22	1.02	0.25	0.36	0.013	0.002	1.38	0.015	0.0015	0.0009	—	—	—	—	—
	23	1.01	0.24	0.35	0.015	0.006	1.41	0.012	0.0012	0.0010	—	—	—	—	—
	24	0.99	0.22	0.25	0.020	0.004	1.35	0.020	0.0018	0.0012	—	—	—	—	—
	25	1.02	0.22	0.30	0.018	0.004	1.44	0.022	0.0020	0.0011	—	—	—	—	—
	26	0.82	0.25	0.41	0.011	0.005	4.02	0.018	0.0015	0.0009	—	—	—	—	—
	27	1.00	0.24	0.52	0.012	0.005	5.80	0.029	0.0027	0.0013	—	—	—	—	—
	28	0.65	1.20	0.37	0.017	0.006	8.09	0.024	0.0026	0.0015	—	—	—	—	—
	29	0.92	0.35	0.40	0.022	0.004	10.44	0.026	0.0024	0.0012	—	—	—	—	—
	30	0.55	0.50	0.38	0.016	0.002	13.50	0.022	0.0010	0.0010	—	—	—	—	—
	31	1.26	0.42	0.33	0.018	0.002	1.45	0.020	0.0015	0.0008	—	—	—	—	—
	32	1.05	2.10	0.34	0.011	0.002	1.10	0.021	0.0012	0.0009	—	—	—	—	—
	33	0.89	0.26	2.30	0.020	0.003	1.24	0.018	0.0014	0.0010	—	—	—	—	—
	34	0.84	0.24	0.40	0.017	0.004	0.72	0.023	0.0013	0.0010	—	—	—	—	—
	35	1.03	0.33	0.38	0.013	0.002	14.60	0.025	0.0014	0.0011	—	—	—	—	—
	36	0.95	0.31	0.29	0.014	0.004	4.03	0.047	0.0012	0.0011	—	—	—	—	—
	37	0.88	0.26	0.28	0.016	0.005	1.30	0.022	0.0013	0.0012	—	—	—	—	—
	38	1.01	0.20	0.24	0.012	0.004	1.36	0.019	0.0012	0.0009	—	—	—	—	—
	39	0.77	0.30	0.33	0.018	0.004	1.38	0.018	0.0011	0.0010	—	—	—	—	—
	40	0.89	0.32	0.39	0.017	0.003	1.42	0.022	0.0014	0.0011	—	—	—	—	—

[0048] Then, while presuming overall diameter rootAREAm_{max} of the oxide system inclusion at the time of setting prediction area to 2 30000mm by extremal-value Statistics Law about oxide system inclusion, the presentation of oxide system inclusion was measured. These results are shown in Table 3 and 4.

However, the presentation of the diameter inclusion of an oxide shown in Table 3 and 4 is the average of

20 things whose major axes are 15 micrometers. The test piece used for these measurement and presumption is JIS. It produces based on the "microscopic-test approach of the nonmetallic inclusion of steel" specified to G0555.

[0049] The digital gage which **** the rate of a scale factor under an optical microscope as 100 times, makes a scale factor 1000 times in measurement of the magnitude of a maximum inclusion within each visual field at the time of measurement, and is attached to the microscope was used. About the inclusion which approached, as shown in drawing 1 (a), when it was more than a major axis with smaller spacing of two oxide system inclusion, each major axis was adopted, as shown in drawing 1 (b), when spacing of two oxide system inclusion was smaller than the major axis of the smaller one, it considered that both were one inclusion and the major axis was adopted. And as mentioned above, presumption of overall diameter rootAREAm_{ax} measured each overall diameter with 20 visual fields about each test specimen, plotted this to the extremal-value probability paper, and performed it.

[0050] Moreover, in the component analysis of oxide system inclusion, the oxide system inclusion in which an overall diameter is shown within each visual field at the time of presuming overall diameter rootAREAm_{ax} was observed by one 4000 times the scale factor of this using the scanning electron microscope (SEM), and the presentation of 20 oxide system inclusion was measured by the grand total with the energy dispersive X-ray analyzer attached to SEM. And these averages were calculated.

[0051]

[Table 3]

	No.	酸化物系介在物の組成 (質量%)					最大介在物系 √AREAm _{ax} (μm)
		Al ₂ O ₃ 系	MgO系	SiO ₂ 系	CaO系	合計	
実施例	1	78.71	20.85	0.24	0.20	100.00	12.0
	2	80.81	19.10	0.00	0.09	100.00	14.6
	3	78.40	21.26	0.16	0.18	100.00	16.2
	4	75.07	24.64	0.27	0.02	100.00	18.5
	5	83.76	15.67	0.52	0.05	100.00	21.2
	6	76.59	22.42	0.36	0.63	100.00	23.0
	7	79.56	16.89	0.02	4.53	100.00	18.7
	8	79.62	16.48	3.76	0.14	100.00	23.6
	9	73.26	26.64	0.04	0.06	100.00	26.4
	10	79.56	17.92	0.00	2.52	100.00	22.5
	11	76.33	15.92	0.22	7.53	100.00	24.6
	12	78.33	21.67	0.00	0.00	100.00	13.6
	13	76.77	22.99	0.00	0.24	100.00	18.8
	14	72.08	27.81	0.10	0.01	100.00	22.4
	15	80.62	18.64	0.06	0.68	100.00	26.4
	16	75.21	24.12	0.00	0.67	100.00	20.8
	17	87.28	12.60	0.08	0.04	100.00	26.4
	18	79.77	19.85	0.20	0.18	100.00	21.7
	19	66.56	27.64	2.16	3.64	100.00	23.6
	20	88.12	11.06	0.26	0.56	100.00	28.4

[0052]

[Table 4]

	No.	酸化物系介在物の組成 (質量%)					最大介在物系 $\sqrt{\text{AREAMax}} (\mu\text{m})$
		Al ₂ O ₃ 系	MgO 系	SiO ₂ 系	CaO 系	合計	
比較例	21	68.97	13.45	4.30	15.28	100.00	33.2
	22	66.24	8.64	14.77	10.35	100.00	31.8
	23	70.39	5.06	4.14	20.41	100.00	33.0
	24	39.57	0.44	21.35	38.64	100.00	38.4
	25	92.38	7.33	0.05	0.24	100.00	27.5
	26	85.60	7.72	5.30	1.38	100.00	28.5
	27	87.62	0.04	1.50	10.84	100.00	36.0
	28	67.46	12.55	5.05	14.94	100.00	38.0
	29	67.11	0.18	7.49	25.22	100.00	40.0
	30	76.90	13.30	5.30	4.50	100.00	45.0
	31	78.35	21.88	0.13	0.19	100.00	31.0
	32	82.45	16.64	0.53	0.38	100.00	28.7
	33	76.34	22.36	0.54	0.76	100.00	29.4
	34	74.93	19.46	3.48	2.13	100.00	31.0
	35	85.40	12.33	1.07	1.20	100.00	35.6
	36	74.62	17.28	4.42	3.68	100.00	37.5
	37	56.48	43.32	0.12	0.08	100.00	28.4
	38	57.45	28.78	9.42	4.35	100.00	33.0
	39	76.11	12.35	0.08	11.46	100.00	32.4
	40	72.15	15.48	12.20	0.17	100.00	29.6

[0053] Then, to these examples and the example of a comparison, under the conditions shown in following Table 5 and 6, quenching, subzero treatment, and tempering were given and the inner ring of spiral wound gasket and outer ring of spiral wound gasket of a ball bearing were produced. And the ball of further the product made from SUJ2 was incorporated, and the Ande Ron value was measured based on the specification of AFBMA (The Anti-Friction Bearing Manufacturers Association, Inc.) about the inside frequency band (300-1800kHz) and the high-frequency band (1800-10000kHz). This result is shown in following Table 7 and 8. In addition, the quiet sex index shown in Table 7 and 8 shows the relative value by making the thing of example No. of comparison 21 into criteria (100). Good silence is acquired, so that a quiet sex index is low. Moreover, the content of SiO₂ system inclusion, the content of CaO system inclusion, the content of MgO system inclusion, and the relation between maximum inclusion size rootAREAMax and a quiet sex index are shown in drawing 2 thru/or drawing 5. - in drawing 2 thru/or drawing 5 shows the quiet sex index of an inside frequency band, and ** shows the quiet sex index of a high-frequency band.

[0054]

[Table 5]

	No.	熱処理条件		
		焼入温度 (℃)	サブゼロ温度 (℃)	焼戻温度 (℃)
実施例	1	830	-76	180
	2	830	-76	180
	3	850	-76	180
	4	850	-76	180
	5	950	-76	180
	6	1000	-76	180
	7	1000	-76	180
	8	1000	-76	180
	9	1050	-76	200
	10	1050	-76	200
	11	1050	-76	200
	12	950	-76	180
	13	950	-76	180
	14	950	-76	180
	15	1050	-76	200
	16	950	-76	180
	17	1000	-76	180
	18	1050	-76	200
	19	1050	-76	200
	20	1050	-76	200

[0055]

[Table 6]

	No.	熱処理条件		
		焼入温度 (℃)	サブゼロ温度 (℃)	焼戻温度 (℃)
比較例	21	830	-76	180
	22	830	-76	180
	23	850	-76	180
	24	850	-76	180
	25	850	-76	180
	26	950	-76	180
	27	950	-76	180
	28	1000	-76	180
	29	1050	-76	200
	30	1050	-76	200
	31	830	-76	180
	32	830	-76	180
	33	850	-76	180
	34	850	-76	180
	35	1050	-76	200
	36	950	-76	180
	37	850	-76	180
	38	850	-76	180
	39	850	-76	180
	40	850	-76	180

[0056]

[Table 7]

	No.	熱処理硬さ (HRC)	*静粛性指数	
			中周波数帯域	高周波数帯域
実施例	1	62.4	45	50
	2	62.1	54	54
	3	61.8	48	52
	4	62.4	52	55
	5	60.5	66	68
	6	60.4	72	75
	7	61.0	70	65
	8	61.2	60	70
	9	60.7	61	65
	10	61.5	78	74
	11	62.0	82	80
	12	62.4	58	62
	13	62.3	56	60
	14	63.4	64	65
	15	62.0	74	68
	16	60.7	65	74
	17	60.4	69	70
	18	61.4	70	78
	19	61.2	80	80
	20	62.0	69	74

[0057]

[Table 8]

	No.	熱処理硬さ (HRC)	静粛性指数	
			中周波数帯域	高周波数帯域
比較例	21	62.5	100	100
	22	61.8	110	112
	23	62.4	115	116
	24	61.6	118	120
	25	62.0	105	107
	26	61.5	108	110
	27	62.0	103	109
	28	60.6	110	114
	29	61.8	115	116
	30	60.8	121	124
	31	60.2	115	124
	32	62.1	110	115
	33	61.7	103	116
	34	62.0	108	117
	35	61.5	109	121
	36	62.2	111	120
	37	61.8	104	115
	38	61.2	105	113
	39	62.0	113	114
	40	61.4	116	119

[0058] As shown in Table 7, since this invention within the limits had the presentation of the whole steel, and the presentation of oxide system inclusion in example No.1 thru/or 20, as compared with example No. of comparison 21 to which Ti content exceeded the upper limit of this invention range, and the rate of CaO system inclusion is over the upper limit of this invention range, the low quiet sex index,

i.e., good silence, was obtained.

[0059] On the other hand in example No. of comparison 22, the rate of MgO system inclusion was under the lower limit of this invention range, and since the rate of SiO₂ system inclusion and CaO system inclusion was over the upper limit of this invention range, silence was lower than example No. of comparison 21.

[0060] In example No. of comparison 23, the rate of MgO system inclusion was under the lower limit of this invention range, and since the rate of CaO system inclusion was over the upper limit of this invention range, silence was lower than example No. of comparison 21.

[0061] In example No. of comparison 24, Ti content exceeded the upper limit of this invention range, the rate of aluminum₂O₃ system inclusion and MgO system inclusion was under the lower limit of this invention range, and since the rate of SiO₂ system inclusion and CaO system inclusion was over the upper limit of this invention range, silence was lower than example No. of comparison 21.

[0062] In example No. of comparison 25, Ti content exceeded the upper limit of this invention range, the rate of aluminum₂O₃ system inclusion exceeded the upper limit of this invention range, and since the rate of MgO system inclusion was under the lower limit of this invention range, silence was lower than example No. of comparison 21.

[0063] In example No. of comparison 26, the rate of aluminum₂O₃ system inclusion exceeded the upper limit of this invention range, and since the rate of MgO system inclusion was under the lower limit of this invention range, silence was lower than example No. of comparison 21.

[0064] In example No. of comparison 27, Ti content and O content exceeded the upper limit of this invention range, the rate of MgO system inclusion was under the lower limit of this invention range, and since the rate of CaO system inclusion was over the upper limit of this invention range, silence was lower than example No. of comparison 21.

[0065] In example No. of comparison 28, since Ti content and O content exceeded the upper limit of this invention range and the rate of CaO system inclusion was over the upper limit of this invention range, silence was lower than example No. of comparison 21.

[0066] In example No. of comparison 29, Ti content exceeded the upper limit of this invention range, the rate of MgO system inclusion was under the lower limit of this invention range, and since the rate of CaO system inclusion was over the upper limit of this invention range, silence was lower than example No. of comparison 21.

[0067] In example No. of comparison 30, since C content was under the lower limit of this invention range, silence was lower than example No. of comparison 21.

[0068] In example No. of comparison 31, since C content was over the upper limit of this invention range, silence was lower than example No. of comparison 21.

[0069] In example No. of comparison 32, since Si content was over the upper limit of this invention range, silence was lower than example No. of comparison 21.

[0070] In example No. of comparison 33, since Mn content was over the upper limit of this invention range, silence was lower than example No. of comparison 21.

[0071] In example No. of comparison 34, since Cr content was under the lower limit of this invention range, silence was lower than example No. of comparison 21.

[0072] In example No. of comparison 35, since Cr content was over the upper limit of this invention range, silence was lower than example No. of comparison 21.

[0073] In example No. of comparison 36, since aluminum content was over the upper limit of this invention range, silence was lower than example No. of comparison 21.

[0074] In example No. of comparison 37, the rate of the mass of aluminum₂O₃ system inclusion to the gross mass of inclusion was under the lower limit of the invention-in-this-application range, and since the rate of the mass of MgO system inclusion was over the upper limit of this invention range in connection with it, silence was lower than example No. of comparison 21.

[0075] In example No. of comparison 38, since the rate of the mass of aluminum₂O₃ system inclusion to the gross mass of inclusion was under the lower limit of the invention-in-this-application range, silence was lower than example No. of comparison 21.

[0076] In example No. of comparison 39, since the rate of the mass of CaO system inclusion to the gross mass of inclusion was over the upper limit of the invention-in-this-application range, silence was lower than example No. of comparison 21.

[0077] In example No. of comparison 40, since the rate of the mass of SiO₂ system inclusion to the gross mass of inclusion was over the upper limit of the invention-in-this-application range, silence was lower than example No. of comparison 21.

[0078]

[Effect of the Invention] Since not only the presentation of a base material but the presentation of the oxide system inclusion which exists in the interior is appropriately specified according to this invention as explained in full detail above, it is stabilized and a good acoustic feature and silence can be acquired. For this reason, small anti-friction bearing excellent in the acoustic feature and silence which are a property important for a precision mechanical equipment can be obtained.

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-113448

(P2003-113448A)

(43) 公開日 平成15年4月18日 (2003. 4. 18)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	データベース [*] (参考)
C 2 2 C 38/00	3 0 2	C 2 2 C 38/00	3 0 2 Z 3 J 1 0 1
38/38		38/38	
38/58		38/58	
F 1 6 C 33/32		F 1 6 C 33/32	
33/62		33/62	
審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 12 頁)			

(21) 出願番号 特願2001-310551 (P2001-310551)

(22) 出願日 平成13年10月5日 (2001. 10. 5)

(71) 出願人 000231165

日本高周波鋼業株式会社

東京都千代田区岩本町1丁目10番5号

(72) 発明者 高嶋 敏昭

富山県新湊市八幡町3丁目10番15号 日本

高周波鋼業株式会社富山製造所内

(72) 発明者 水野 幸隆

富山県新湊市八幡町3丁目10番15号 日本

高周波鋼業株式会社富山製造所内

(74) 代理人 100090158

弁理士 藤巻 正憲

Fターム (参考) 3J101 AA01 BA01 BA10 BA51 BA70

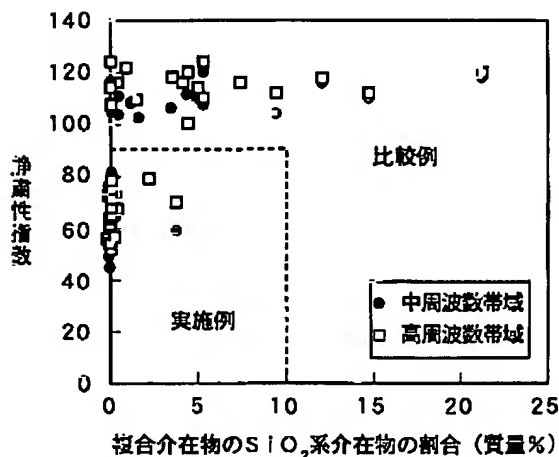
EA53 FA01 GA29 GA53

(54) 【発明の名称】 静粛性が優れた軸受用鋼

(57) 【要約】

【課題】 良好な静粛性及び音響特性を安定して得ることができる静粛性が優れた軸受用鋼を提供する。

【解決手段】 酸化物系複合介在物の組成を制御することにより、音響特性及び静粛性を向上させることができる。具体的には、 SiO_2 系介在物の含有量が10質量%を超えるか、又は CaO 系介在物の含有量が10質量%を超えている Al_2O_3 を主成分とする複合介在物が存在していると、音響特性及び静粛性が著しく低下する。従って、 Al_2O_3 系介在物の含有量を60乃至90質量%とし、 MgO 系介在物の含有量を10乃至30質量%とし、 SiO_2 系介在物の含有量を10質量%以下とし、 CaO 系介在物の含有量を10質量%以下とすることにより、音響特性及び静粛性を向上させることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 C: 0.6乃至1.2質量%、Si: 0.1乃至2.0質量%、Mn: 0.1乃至2.0質量%、Cr: 0.8乃至14.0質量%及びAl: 0.04質量%以下を含有し、残部がFe及び不可避免の不純物からなり、前記不可避免の不純物中のTiの含有量が0.0015質量%以下に規制され、Oの含有量が0.0012質量%以下に規制されており、介在物の総質量に対する Al_2O_3 系介在物の質量の割合が60乃至90%、MgO系介在物の質量の割合が10乃至30%、 SiO_2 系介在物の質量の割合が10%以下、CaO系介在物の質量の割合が10%以下であるスピネル系の複合介在物であることを特徴とする静粛性が優れた軸受用鋼。

【請求項2】 Cr含有量が10.0乃至14.0質量%であることを特徴とする請求項1に記載の静粛性が優れた軸受用鋼。

【請求項3】 極値統計法において予測面積を3000 mm^2 とした場合に推定される酸化物系介在物の最大径 $\sqrt{AREA_{max}}$ が30 μm 以下であることを特徴とする請求項1又は2に記載の静粛性が優れた軸受用鋼。

【請求項4】 更に、Ni: 0.1乃至2.0質量%、Cu: 0.1乃至1.0質量%、Mo: 0.1乃至2.0質量%、V: 0.05乃至1.0質量%及びNb: 0.01乃至1.0質量%からなる群から選択された少なくとも1種の元素を含有することを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の静粛性が優れた軸受用鋼。

【請求項5】 前記酸化物系介在物中の Al_2O_3 系介在物の含有量が70乃至85質量%、MgO系介在物の含有量が15乃至30質量%、 SiO_2 系介在物の含有量が2.5質量%以下、CaO系介在物の含有量が5質量%以下であることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の静粛性が優れた軸受用鋼。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ころ軸受及び玉軸受のような転がり軸受に好適な静粛性に優れた軸受用鋼に関し、特に、エアーコンディショナ、コンピュータのディスクドライブ、ビデオデッキ及びオーディオ機器等の精密機器の転がり軸受等に使用される静粛性が優れた軸受用鋼に関する。

【0002】

【従来の技術】転がり軸受その他の転動装置が作動中に発生する振動により生じる騒音の少なさを示す指標として静粛性及び音響特性がある。工作機械及び建設機械等では、静粛性及び音響特性の低さはそれほど問題にならないが、例えばハードディスクドライブ(HDD)及びビデオテープレコーダ(VTR)等のような振動を極度に嫌う精密機器に使用される比較的小型の玉軸受等にお

いては、高い静粛性及び音響特性が要求される。特に、小型の玉軸受では、負荷荷重がさほど大きくないため、転動疲労寿命等の疲労特性はあまり重視されず、回転時の静粛性及び音響性能が重要視され、従来、これに関する研究及び開発が種々行われている。

【0003】軸受用鋼の静粛性及び音響特性のうちでも特に注目されるものは、使用初期の音響特性及び使用中の経年変化による音響特性の劣化の2種類である。使用初期の音響特性は軸受部品の形状的な仕上げ精度に大きく左右される。そして、材料の面で、この仕上げ精度を大きく左右する要因は、基地とは硬さが著しく相違する非金属介在物及び共晶炭化物の数及び大きさである。また、使用初期の音響特性が問題のないレベルであっても、軸受部品として使用されている間に、基地と非金属介在物及び共晶炭化物との間に生じる摩耗差が表面形状及び表面粗さ等の精度劣化を招き、使用中の音響特性が低下する。

【0004】共晶炭化物については、特開平11-241148号公報に、その大きさ及び量の限界が開示されている。しかし、近年、製鋼技術が発達し、C: 0.6乃至1.2質量%及びCr: 0.8乃至14.0質量%を含有する鋼材では、鋼塊の大きさの制御及びソーキングを実施する等の製造方法の発達により共晶炭化物が音響特性に及ぼす影響は比較的小さくなっている。

【0005】一方、非金属介在物が軸受部品の転動疲労寿命等の諸特性に有害であることは公知であり、介在物を低減するために、O又はTi等の含有量を抑制した鋼材は多く開示されている。また、非金属介在物の数、大きさ及び組成を特定し、転動寿命特性の向上を図ったものとして、例えば特開平3-79741号公報に、鋼中に存在する酸化物系介在物の組成を特定し、加工後の酸化物系介在物の含有量を調整することにより、O含有量を極めて微量に低減させなくても転動疲労特性が向上する軸受用鋼が開示されている。

【0006】また、特開平3-126839号公報には、酸化物系介在物の粒子径及び個数を制御することにより、転動疲労寿命が向上することが開示されているが、静粛性及び音響特性との関係については触れられていない。

【0007】非金属介在物の数及び大きさと静粛性及び音響特性との関係については、例えば特開平11-279710号公報に記載されている。具体的には、この公報には、静粛性及び音響特性に軸受部品の鋼材側の要因として最も大きく影響し鋼材の製造工程において制御することが困難な Al_2O_3 の含有量が50%質量以上の硬質の酸化物系介在物の大きさ、数及び存在比を的確に把握して制御することにより、軸受部品の静粛性及び音響特性を向上させることができることが記載されている。そして、 Al_2O_3 の含有量が50%質量以上の硬質の酸化物系介在物で粗大なものが多数存在するような

軸受用鋼を軸受部品の素材として使用した場合には、そのような介在物が転動装置部品の表面に出現し、仕上げ加工の精度を悪化させて音響特性が劣化することが記載されている。また、上述のように、使用初期の音響特性が問題のないレベルであっても、軸受部品として使用されている間に、基地と硬質の非金属介在物との間に摩耗差が生じて表面形状及び表面粗さ等の精度劣化を招き、使用中の音響特性が低下することも記載されている。

【0008】このように、非金属介在物の中でも酸化物系介在物は、その数が多く、また、製造工程においてその制御が困難であるため、静粛性及び音響特性に大きく影響を及ぼす。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、軸受用鋼の静粛性及び音響特性に関して非金属介在物の数及び大きさに着目した発明及び研究は少ない。また、非金属介在物の数及び大きさに着目したものであっても、非金属介在物の組成と静粛性及び音響特性との関係を明らかにしたものはない。このため、静粛性及び音響特性の更なる向上が求められる現状において、このような要求に応えることができる軸受用鋼が存在しないという問題点がある。

【0010】本発明はかかる問題点を鑑みてなされたものであって、良好な静粛性及び音響特性を安定して得ることができる静粛性が優れた軸受用鋼を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明に係る静粛性が優れた軸受用鋼は、C: 0.6乃至1.2質量%、Si: 0.1乃至2.0質量%、Mn: 0.1乃至2.0質量%、Cr: 0.8乃至14.0質量%及びAl: 0.04質量%以下を含有し、残部がFe及び不可避免的不純物からなり、前記不可避免的不純物中のTiの含有量が0.0015質量%以下に規制され、Oの含有量が0.0012質量%以下に規制されており、介在物の総質量に対する Al_2O_3 系介在物の質量の割合が60乃至90%、MgO系介在物の質量の割合が10乃至30%、 SiO_2 系介在物の質量の割合が10%以下、CaO系介在物の質量の割合が10%以下であるスピネル系の複合介在物であることを特徴とする。なお、 Al_2O_3 系介在物とは、 Al_2O_3 の含有量が98質量%以上の酸化物系介在物をいい、MgO系介在物とは、MgOの含有量が98質量%以上の酸化物系介在物をいい、 SiO_2 系介在物とは、 SiO_2 の含有量が98質量%以上の酸化物系介在物をいい、CaO系介在物とは、CaOの含有量が98質量%以上の酸化物系介在物をいう。

【0012】なお、Cr含有量が10.0乃至14.0質量%であることが望ましく、また、極値統計法において予測面積を 30000mm^2 とした場合に推定される酸化物系介在物の最大径 \sqrt{AREMax} が $30\mu\text{m}$ 以

下であることが望ましい。

【0013】更に、Ni: 0.1乃至2.0質量%、Cu: 0.1乃至1.0質量%、Mo: 0.1乃至2.0質量%、V: 0.05乃至1.0質量%及びNb: 0.01乃至1.0質量%からなる群から選択された少なくとも1種の元素を含有してもよい。

【0014】更にまた、前記酸化物系介在物中の Al_2O_3 系介在物の含有量が70乃至85質量%、MgO系介在物の含有量が15乃至30質量%、 SiO_2 系介在物の含有量が2.5質量%以下、CaO系介在物の含有量が5質量%以下であることが望ましい。

【0015】本願発明者等が前記課題を解決すべく、鋭意実験研究を重ねた結果、鋼材中に存在する酸化物系介在物には、OがAl、Si、Ca、Mg又はMn等と結合してできる非金属介在物及びスラグの巻き込み又は製鋼工程で溶損した耐火物の混入分等が含まれるため、単純な組成の酸化物系介在物(例えば Al_2O_3 、MgO、 SiO_2 又はCaO)の量及び個数は極めて少なく、大部分の酸化物系介在物はこれらが複合して生成した複合介在物となっていることを知見した。

【0016】そして、本願発明者等は、軸受用鋼中に存在する非金属介在物の組成を分析し、非金属介在物の組成が音響特性及び静粛性に及ぼす影響について鋭意研究した結果、酸化物系複合介在物の組成を制御することにより、音響特性及び静粛性を向上させることができることを見出した。具体的には、 SiO_2 系介在物の含有量が10質量%を超えるか、又はCaO系介在物の含有量が10質量%を超えている Al_2O_3 を主成分とする複合介在物が存在していると、音響特性及び静粛性が著しく低下することを見出した。

【0017】更に、本願発明者等は、 Al_2O_3 系介在物の含有量を60乃至90質量%とし、MgO系介在物の含有量を10乃至30質量%とし、 SiO_2 系介在物の含有量を10質量%以下とし、CaO系介在物の含有量を10質量%以下とすることにより、音響特性及び静粛性をより一層向上させることができ、また、極値統計法において予測面積を 30000mm^2 とした場合に推定される酸化物系介在物の最大径 \sqrt{AREMax} を $30\mu\text{m}$ 以下とすることにより、更に音響特性及び静粛性を向上させることができることを見出した。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る軸受用鋼に含有される化学成分及びその組成限定理由について説明する。

【0019】C: 0.6乃至1.2質量%。

Cは焼入れ硬さを増大させ、室温又は高温における強度を維持して耐摩耗性を付与するために必須の元素である。C含有量が0.6質量%未満であると、焼入れ硬さが不足して耐摩耗性を維持することができない。一方、C含有量が1.2質量%を超えると、長時間のソーキン

グでも拡散しきれない巨大な共晶炭化物が生成するため、軸受部品の静粛性だけでなく、被研削性、冷間鍛造性及び被切削性が低下する。従って、C含有量は0.6乃至1.2質量%とする。

【0020】Si: 0.1乃至2.0質量%
Siは製鋼工程における脱酸のために必要な元素であり、また耐磨耗性及び強度を増大する効果を有する。Si含有量が0.1質量%未満であると、これらの効果が得られない。一方、Si含有量が2.0質量%を超えると、冷間鍛造性及び被切削性が低下する。従って、Si含有量は0.1乃至2.0質量%とする。

【0021】Mn: 0.1乃至2.0質量%
Mnは焼入れ性を向上させて強度を増大させる元素である。Mn含有量が0.1質量%未満であると、このような効果が得られない。一方、Mn含有量が2.0質量%を超えると、残留オーステナイトが増大して逆に強度が低下し、また、寸法の経年変化が引き起こされる。従って、Mn含有量は0.1乃至2.0質量%とする。

【0022】Cr: 0.8乃至14.0質量%
Crは強度及び焼入れ性を向上させると共に、耐食性及び耐熱性を付与する元素である。また、CrはCと結びついて微細な炭化物を形成し耐磨耗性を向上させる。Cr含有量が0.8質量%未満であると、これらの効果が得られない。一方、Cr含有量が14.0質量%を超えると、巨大な共晶炭化物が生成する。従って、Cr含有量は0.8乃至14.0質量%とする。

【0023】なお、0.8乃至14.0質量%の範囲内では、Cr含有量が増加するほど漸次耐食性が向上する。そして、軸受部品においては、その用途によって要求される耐食性は大きく異なる。例えば、通常の用途で特別高い耐食性が要求されない場合には、Cr含有量は0.8乃至2.0質量%で十分である。この場合、Crの添加により、強度及び焼入れ性が向上する。また、十分に高い耐食性が要求される用途、例えばHDD用の玉軸受のように組付け時に完全に脱脂され、以降錆の発生を排除する必要がある軸受部品又は海岸地方で 사용되는可搬性の精密機器では、Cr含有量は10.0乃至14.0質量%であることが望ましい。これらの中間のCr含有量の範囲では、軸受部品の用途に応じてCr含有量を選択すればよい。なお、Cr含有量が増えるほど、製造コストも上昇するため、要求される耐食性とコストとの兼ね合いに基づいてCr含有量を選択することが望ましい。

【0024】Al: 0.040質量%以下
Alは製鋼工程中での脱酸に必須の元素であり、O含有量を規制するためにその添加が必要である。Al含有量が0.04質量%を超えると、 Al_2O_3 の含有量が高い酸化物系介在物が多量に発生する。従って、Al含有量は0.040質量%以下とする。

【0025】Ti: 0.0015質量%以下に規制

Tiは硬質の非金属介在物であるTiNを生成して静粛性及び音響特性を低下させるため、その含有量が少ない方が好ましい。Ti含有量が0.0015質量%以下であれば、許容されるが、それを超えると静粛性及び音響特性の低下が顕著となる。従って、Ti含有量は0.0015質量%以下とする。

【0026】O: 0.0012質量%以下に規制
Oは酸化物系介在物を生成して静粛性及び音響特性を低下させるため、その含有量が少ない方が好ましい。O含有量が0.0012質量%以下であれば、許容されるが、それを超えると静粛性及び音響特性の低下が顕著となる。従って、O含有量は0.0012質量%以下とする。

【0027】また、以下の成分元素を、必要に応じて、更に添加してもよい。

【0028】Ni: 0.1乃至2.0質量%
Niには、焼入れ性を向上させて焼入硬化深さを深くすると共に、靱性及び延性を改善する効果がある。Ni含有量が0.1質量%未満であると、これらの効果が得られない。一方、Ni含有量が2.0質量%を超えると、残留オーステナイトの量を増加させて軸受部品に使用中の経年変化を引き起こし、音響特性を劣化させる。従って、Ni含有量は0.1乃至2.0質量%であることが望ましい。

【0029】Cu: 0.1乃至1.0質量%
Cuは焼入れ性及び耐食性を向上させる元素である。Cu含有量が0.1質量%未満であると、これらの効果が得られない。一方、Cu含有量が1.0質量%を超えると、赤熱脆性を助長して熱間加工性を低下させる。従って、Cu含有量は0.1乃至1.0質量%であることが望ましい。

【0030】Mo: 0.1乃至2.0質量%
Moは焼入れ性を向上させると共に、耐食性及び耐磨耗性を向上させる元素である。Mo含有量が0.1質量%未満であると、これらの効果が得られない。一方、Mo含有量が2.0質量%を超えると、 M_6C 炭化物を多量に生成し、転が効果が飽和すると共に、静粛性及び音響特性を劣化させる。従って、Mo含有量は0.1乃至2.0質量%であることが望ましい。

【0031】V: 0.05乃至1.0質量%
Vは微細なVC炭化物を生成して結晶粒を微細化すると共に、耐磨耗性及び耐熱性を向上させる元素である。V含有量が0.05質量%未満であると、これらの効果が得られない。一方、V含有量が1.0質量%を超えると、VC炭化物が粗大化して静粛性及び音響特性を劣化させる。従って、V含有量は0.05乃至1.0質量%であることが望ましい。

【0032】Nb: 0.01乃至1.0質量%
Nbは微細なNbC炭化物を生成して結晶粒を微細化する。Nb含有量が0.01質量%未満であると、この効

果が得られない。一方、Nb含有量が1.0質量%を超えると、NbC炭化物が粗大化して静粛性及び音響特性を劣化させる。従って、Nb含有量は0.01乃至1.0質量%であることが望ましい。

【0033】更に、本発明においては、極値統計法において予測面積を30000mm²とした場合に推定される酸化物系介在物の最大径 $\sqrt{ARE A_{max}}$ が30 μ m以下であることが望ましい。最大径 $\sqrt{ARE A_{max}}$ が30 μ mを超えると、仕上制度が低下し、これに伴って音響特性が低下しやすくなる。

【0034】なお、極値統計法とは、複数の試験片からある単位面積 S_0 内の介在物の中から最も大きなものの大きさを測定し、それを極値確率紙にプロットすることにより、任意の面積中に存在する最大介在物の大きさ $\sqrt{ARE A_{max}}$ を推定する方法であって、量産材の介在物評価に用いられている。

【0035】次に、O含有量及びTi含有量と非金属介在物の数及び大きさとの関係について説明する。Tiについては、Tiから生成される介在物はTiNにほぼ限定されるので、比較的単純な関係で整理することができる。つまり、Ti含有量とTi系非金属介在物の数及び大きさとの間には、ある程度の相関関係が認められ、Ti含有量の分析値からTi系非金属介在物の数及び大きさの推定はある程度可能である。これに対し、Oについては、Al、Si、Ca、Mg及びMn等と結合して多種類の非金属介在物がOから生成される。更に、酸化物系介在物にはスラグの巻き込み分及び製鋼工程で溶損した耐火物の混入分等も含まれるため、このため、O含有量が0.0012質量%以下に規制されている清浄度の高い軸受用鋼においては、O含有量と非金属介在物の組成、数及び大きさとの間にはほとんど相関関係は存在しない。このことは、「材料とプロセス、4(1991)、1178」及び「材料とプロセス、4(1991)、321」にも記載されている。従って、軸受用鋼中の非金属介在物の評価は、直接的にその組成、数及び大きさを最適な方法で測定することにより行うしかない。

【0036】そこで、本発明では、極値統計法を用いた最大介在物径 $\sqrt{ARE A_{max}}$ の限定をしているのである。そして、本発明における極値統計法による最大径 $\sqrt{ARE A_{max}}$ の推定では、光学式顕微鏡を使用して1辺の長さが10cmの正方形の視野内で最大の酸化物系介在物の大きさを、検査視野が重複しないようにしながら、各供試材につき20視野で測定し、予想面積を30000mm²としたときの最大介在物の大きさを推定する。

【0037】なお、本発明においては、粒径が15 μ m以上の酸化物系介在物は、次の条件を満たすスピネル系の複合介在物であることが必要である。これは、次の理由による。介在物は素地である鋼とは機械的性質を全く異にするものであり、鋼が応力を受けて変形しようとす

るとき、この介在物に変形せず、介在物の先端付近で素地に亀裂が生じる。このような状態で材料に繰返し応力が加わると徐々に亀裂が進展し、やがて破壊に至る。このような転動疲労寿命に対して酸化物系介在物は介在物の中でも最も影響が大きい。また、酸化物系介在物は静粛性にも影響を及ぼす。従って、素地中に粗大な介在物がなく、その個数が少ないことが好ましい。

【0038】また、SiO₂、MgO又はCaOの含有量が高い介在物は耐火物若しくは煉瓦の混入又はスラグからの巻き込みにより存在している可能性が高く、溶解中に精製した介在物ではない。これらの介在物が鋼材の表面に現れた場合、介在物が容易に剥離又は欠落して疵又は穴が残る。この結果、早期に疲労寿命又は音響寿命に達してしまう。また、これらの介在物が内部に存在する場合でも、介在物が疲労破壊の起点となるため、早期に疲労寿命又は音響寿命に達してしまう。更に、酸化物系介在物が鋼中に存在する場合、転動疲労寿命、機械的性質及び表面性状に大きな影響を与える。そこで、従来、介在物を低減させるために、スラグ脱酸及び脱ガスといった精錬により清浄度を向上させている。このような方法によって酸素濃度を下げて鋼中の介在物量を低減することはできるが、完全に除去できるわけではなく、従来の方法により得られた鋼では、静粛性が十分低いとはいえない。これに対し、以下に示すように、介在物の割合を適切に規定することにより、良好な音響特性及び静粛性が得られる。

【0039】Al₂O₃系介在物の質量の割合：60乃至90%

介在物の総質量に対するAl₂O₃系介在物の質量の割合が90%を超えると、大型介在物が形成されやすくなる。一方、Al₂O₃系介在物の質量の割合が60%未満であると、相対的に他の酸化物系介在物、例えばSiO₂系介在物及びCaO系介在物等の割合が高くなり、大型介在物が形成されやすくなる。従って、介在物の総質量に対するAl₂O₃系介在物の質量の割合は60乃至90%とする。特に、Al₂O₃系介在物の質量の割合は70乃至85%であることが好ましい。

【0040】MgO系介在物の質量の割合：10乃至30%

介在物の総質量に対するMgO系介在物の質量の割合が30%を超えるものは耐火物の巻き込みにより生成したものであり、欠落しやすい。一方、MgO系介在物の質量の割合が10%未満であると、スピネル系にならず大型介在物が形成されやすくなる。従って、介在物の総質量に対するMgO系介在物の質量の割合は10乃至30%とする。特に、MgO系介在物の質量の割合は15乃至30%であることが好ましい。

【0041】SiO₂系介在物の質量の割合：10%以下

介在物の総質量に対するSiO₂系介在物の質量の割合

が10%を超えるものは、耐火物の巻き込みにより生成したものであって粗大である。従って、介在物の総質量に対するSiO₂系介在物の質量の割合は10%以下とする。特に、SiO₂系介在物の質量の割合は2.5%以下であることが好ましい。

【0042】CaO系介在物の質量の割合：10%以下
介在物の総質量に対するCaO系介在物の質量の割合が10%を超えるものは、耐火物の巻き込みにより生成したものであって粗大である。従って、介在物の総質量に対するCaO系介在物の質量の割合は10%以下とする。特に、CaO系介在物の質量の割合は0.5%以下であることが好ましい。

【0043】このような酸化物系介在物の組成は、例えばエネルギー分散型X線分析装置を用いて定量分析することにより、特定することができる。

【0044】

【実施例】以下、本発明の実施例について、その特許請求の範囲から外れる比較例と比較して具体的に説明する。

【0045】先ず、表1及び2に示す組成の実施例及び比較例の鋼材を作製した。これらの供試した鋼材は、溶鋼を精錬し、脱ガス処理した後に、造塊し、巨大炭化物を拡散する目的で、1230℃で3時間のソーキングを施した後、熱間圧延で直径が25mmの棒材及び直径が5.5mmの線材を作製した。更に、790乃至900℃に1時間保持し、600℃まで15℃/時以下の速度で徐冷した後、空冷することにより、球状化焼鈍した。なお、表1及び表2中のP及びSは不可避的不純物である。また、表1及び表2中の「-」はその元素が含有されていないことを示す。

【0046】

【表1】

No.	鋼材の組成													
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Ti	O	Ni	Cu	Mo	V	Nb
1	1.00	0.24	0.45	0.013	0.004	1.44	0.022	0.0008	0.0005	-	-	-	-	-
2	1.02	0.40	0.45	0.022	0.002	1.00	0.015	0.0012	0.0004	-	-	-	-	-
3	0.98	0.33	0.33	0.017	0.003	1.33	0.020	0.0011	0.0008	-	-	-	-	-
4	1.03	1.00	0.98	0.012	0.002	1.05	0.018	0.0010	0.0005	-	-	-	-	-
5	0.78	0.24	0.60	0.009	0.005	5.30	0.017	0.0010	0.0007	-	-	-	-	-
6	0.90	0.12	0.80	0.010	0.005	7.34	0.022	0.0012	0.0010	-	-	-	-	-
7	0.69	0.13	0.25	0.025	0.002	8.60	0.024	0.0009	0.0009	-	-	-	-	-
8	0.90	0.60	0.55	0.015	0.003	9.12	0.020	0.0009	0.0010	-	-	-	-	-
9	1.05	0.25	0.45	0.019	0.003	10.33	0.015	0.0008	0.0011	-	-	-	-	-
10	0.77	0.30	0.30	0.020	0.004	12.70	0.018	0.0012	0.0006	-	-	-	-	-
11	1.02	1.05	0.38	0.021	0.002	13.70	0.024	0.0011	0.0008	-	-	-	-	-
12	0.99	0.33	0.28	0.030	0.003	0.90	0.027	0.0010	0.0007	0.30	-	-	-	-
13	1.12	0.40	0.65	0.021	0.002	1.40	0.019	0.0009	0.0006	1.80	-	0.15	-	-
14	0.84	1.80	0.30	0.015	0.002	3.96	0.025	0.0012	0.0006	-	0.15	-	0.50	-
15	0.80	0.60	0.48	0.012	0.004	4.20	0.022	0.0011	0.0006	-	-	1.90	-	-
16	0.76	0.24	0.29	0.007	0.002	6.66	0.026	0.0010	0.0008	-	-	-	-	0.60
17	0.98	0.36	0.32	0.019	0.006	8.26	0.020	0.0009	0.0007	-	0.88	-	-	-
18	0.80	0.50	0.30	0.020	0.002	10.23	0.024	0.0012	0.0008	-	0.95	-	-	-
19	0.87	0.33	0.45	0.021	0.003	12.56	0.023	0.0014	0.0010	-	-	1.02	0.13	-
20	1.02	0.28	0.30	0.016	0.002	13.70	0.020	0.0011	0.0011	-	-	-	0.87	0.05

【0047】

【表2】

No.	鋼材の組成													
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Ti	O	Ni	Cu	Mo	V	Nb
比較例	21	0.88	0.21	0.37	0.015	0.002	1.44	0.018	0.0025	0.0012	-	-	-	-
	22	1.02	0.25	0.36	0.013	0.002	1.38	0.015	0.0015	0.0009	-	-	-	-
	23	1.01	0.24	0.35	0.015	0.006	1.41	0.012	0.0012	0.0010	-	-	-	-
	24	0.99	0.22	0.25	0.020	0.004	1.35	0.020	0.0018	0.0012	-	-	-	-
	25	1.02	0.22	0.30	0.018	0.004	1.44	0.022	0.0020	0.0011	-	-	-	-
	26	0.82	0.25	0.41	0.011	0.005	4.02	0.018	0.0015	0.0009	-	-	-	-
	27	1.00	0.24	0.52	0.012	0.005	5.80	0.029	0.0027	0.0013	-	-	-	-
	28	0.65	1.20	0.37	0.017	0.006	3.09	0.024	0.0026	0.0015	-	-	-	-
	29	0.92	0.35	0.40	0.022	0.004	10.44	0.026	0.0024	0.0012	-	-	-	-
	30	0.65	0.50	0.38	0.016	0.002	18.50	0.022	0.0010	0.0010	-	-	-	-
	31	1.26	0.42	0.33	0.018	0.002	1.45	0.020	0.0015	0.0008	-	-	-	-
	32	1.05	2.10	0.34	0.011	0.002	1.10	0.021	0.0012	0.0009	-	-	-	-
	33	0.89	0.26	2.30	0.020	0.003	1.24	0.018	0.0014	0.0010	-	-	-	-
	34	0.84	0.24	0.40	0.017	0.004	0.72	0.023	0.0013	0.0010	-	-	-	-
	35	1.03	0.33	0.38	0.013	0.002	14.60	0.025	0.0014	0.0011	-	-	-	-
	36	0.95	0.31	0.29	0.014	0.004	4.03	0.047	0.0012	0.0011	-	-	-	-
	37	0.88	0.26	0.28	0.016	0.005	1.30	0.022	0.0013	0.0012	-	-	-	-
	38	1.01	0.20	0.24	0.012	0.004	1.36	0.019	0.0012	0.0009	-	-	-	-
	39	0.77	0.30	0.33	0.013	0.004	1.38	0.018	0.0011	0.0010	-	-	-	-
	40	0.89	0.32	0.39	0.017	0.003	1.42	0.022	0.0014	0.0011	-	-	-	-

【0048】その後、酸化物系介在物について、極値統計法により予測面積を30000mm²とした場合の酸化物系介在物の最大径 \sqrt{AREMax} を推定すると共に、酸化物系介在物の組成を測定した。これらの結果を表3及び表4に示す。但し、表3及び表4に示す酸化物径介在物の組成は、長径が15 μ mのもの20個の平均値である。これらの測定及び推定に用いた試験片はJIS G0555に規定する「鋼の非金属介在物の顕微鏡試験方法」に基づいて作製したものである。

【0049】各視野内での最大介在物の大きさの測定に当たっては、倍率率を100倍として光学式顕微鏡で顕鏡し、測定時には倍率を1000倍として顕微鏡に付属されているデジタルゲージを使用した。近接した介在物については、図1(a)に示すように、2個の酸化物系介在物同士の間隔が小さい方の長径以上の場合には、夫

々の長径を採用し、図1(b)に示すように、2個の酸化物系介在物同士の間隔が小さい方の長径より小さい場合には、両者を1個の介在物とみなしてその長径を採用した。そして、最大径 \sqrt{AREMax} の推定は、前述のように、各供試材について20視野で夫々の最大径を測定し、これを極値確率紙にプロットして行った。

【0050】また、酸化物系介在物の組成分析においては、最大径 \sqrt{AREMax} を推定する際の各視野内で最大径を示す酸化物系介在物を倍率4000倍で走査型電子顕微鏡(SEM)を使用して観察し、SEMに付属しているエネルギー分散型X線分析装置により総計で20個の酸化物系介在物の組成を測定した。そして、これらの平均値を求めた。

【0051】

【表3】

No.	酸化物系介在物の組成 (質量%)					最大介在物系 $\sqrt{\text{AREAm}_{\text{max}}} (\mu\text{m})$
	Al ₂ O ₃ 系	MgO 系	SiO ₂ 系	CaO 系	合計	
1	78.71	20.85	0.24	0.20	100.00	12.0
2	80.81	19.10	0.00	0.09	100.00	14.6
3	78.40	21.26	0.16	0.18	100.00	16.2
4	75.07	24.64	0.27	0.02	100.00	18.5
5	83.76	15.67	0.52	0.05	100.00	21.2
6	76.59	22.42	0.36	0.63	100.00	23.0
7	79.56	15.89	0.02	4.53	100.00	18.7
8	79.62	16.48	3.76	0.14	100.00	23.6
9	73.26	26.64	0.04	0.06	100.00	26.4
10	79.56	17.92	0.00	2.52	100.00	22.5
11	76.33	15.92	0.22	7.53	100.00	24.6
12	78.33	21.67	0.00	0.00	100.00	13.6
13	76.77	22.99	0.00	0.24	100.00	18.8
14	72.08	27.81	0.10	0.01	100.00	22.4
15	80.62	18.64	0.06	0.68	100.00	26.4
16	75.21	24.12	0.00	0.67	100.00	20.8
17	87.28	12.60	0.08	0.04	100.00	26.4
18	79.77	19.85	0.20	0.18	100.00	21.7
19	66.56	27.64	2.16	3.64	100.00	23.6
20	88.12	11.06	0.26	0.56	100.00	23.4

実施例

【0052】

【表4】

No.	酸化物系介在物の組成 (質量%)					最大介在物系 $\sqrt{\text{AREAm}_{\text{max}}} (\mu\text{m})$
	Al ₂ O ₃ 系	MgO 系	SiO ₂ 系	CaO 系	合計	
21	66.97	13.45	4.30	15.28	100.00	33.2
22	66.24	8.64	14.77	10.35	100.00	31.8
23	70.39	5.06	4.14	20.41	100.00	33.0
24	39.57	0.44	21.35	38.64	100.00	38.4
25	92.38	7.33	0.05	0.24	100.00	27.5
26	85.60	7.72	5.30	1.38	100.00	28.5
27	87.62	0.04	1.50	10.84	100.00	36.0
28	67.46	12.55	5.05	14.94	100.00	38.0
29	67.11	0.18	7.49	25.22	100.00	40.0
30	76.90	13.30	5.30	4.50	100.00	45.0
31	78.35	21.33	0.13	0.19	100.00	31.0
32	82.45	16.64	0.53	0.38	100.00	28.7
33	76.34	22.36	0.54	0.76	100.00	29.4
34	74.93	19.46	3.48	2.13	100.00	31.0
35	85.40	12.33	1.07	1.20	100.00	35.6
36	74.62	17.28	4.42	3.68	100.00	37.5
37	56.48	43.32	0.12	0.08	100.00	28.4
38	57.45	28.78	9.43	4.35	100.00	33.0
39	76.11	12.35	0.08	11.46	100.00	32.4
40	72.15	15.43	12.30	0.17	100.00	29.6

比較例

【0053】その後、これらの実施例及び比較例に対して、下記表5及び表6に示す条件の下で、焼き入れ、サブゼロ処理及び焼き戻しを施し、玉軸受の内輪及び外輪を作製した。そして、更にSUJ2製のボールを組み込んでAFBMA (The Anti-Friction Bearing Manufacturers Association, Inc.) の規格に準拠してアンデロン値を中周波数帯域 (300~1800kHz) 及び高周波数帯域 (1800~10000kHz) について測

定した。この結果を下記表7及び表8に示す。なお、表7及び表8に示す静粛性指数は、比較例No. 21のものを基準 (100) としてその相対値を示すものである。静粛性指数が低いほど、良好な静粛性が得られる。また、図2乃至図5に、SiO₂ 系介在物の含有量、CaO系介在物の含有量、MgO系介在物の含有量及び最大介在物径 $\sqrt{\text{AREAm}_{\text{max}}}$ と静粛性指数との関係を示す。図2乃至図5中の●は中周波数帯域の静粛性指数を

示し、□は高周波数帯域の静粛性指数を示す。

【表5】

【0054】

	No.	熱処理条件		
		焼入温度 (℃)	サブゼロ温度 (℃)	焼戻温度 (℃)
実施例	1	830	-76	180
	2	830	-76	180
	3	850	-76	180
	4	850	-76	180
	5	950	-76	180
	6	1000	-76	180
	7	1000	-76	180
	8	1000	-76	180
	9	1050	-76	200
	10	1050	-70	200
	11	1050	-70	200
	12	950	-76	180
	13	950	-76	180
	14	950	-76	180
	15	1050	-76	200
	16	950	-76	180
	17	1000	-76	180
	18	1050	-76	200
	19	1050	-76	200
	20	1050	-76	200

【0055】

【表6】

	No.	熱処理条件		
		焼入温度 (℃)	サブゼロ温度 (℃)	焼戻温度 (℃)
比較例	21	830	-76	180
	22	830	-76	180
	23	850	-76	180
	24	850	-76	180
	25	850	-76	180
	26	950	-76	180
	27	950	-76	180
	28	1000	-76	180
	29	1050	-70	200
	30	1050	-76	200
	31	830	-76	180
	32	830	-76	180
	33	850	-76	180
	34	850	-76	180
	35	1050	-76	200
	36	950	-76	180
	37	850	-76	180
	38	850	-76	180
	39	850	-76	180
	40	850	-76	180

【0056】

【表7】

	No.	熱処理硬さ (HRC)	静粛性指数	
			中周波数帯域	高周波数帯域
実施例	1	62.4	45	50
	2	62.1	54	54
	3	61.8	48	52
	4	62.4	52	55
	5	60.5	66	68
	6	60.4	72	75
	7	61.0	70	65
	8	61.2	60	70
	9	60.7	61	65
	10	61.5	78	74
	11	62.0	82	80
	12	62.4	58	62
	13	62.3	56	60
	14	63.4	64	65
	15	62.0	74	63
	16	60.7	65	74
	17	60.4	69	70
	18	61.4	70	78
	19	61.2	80	80
	20	62.0	69	74

【0057】

【表8】

	No.	熱処理硬さ (HRC)	静粛性指数	
			中周波数帯域	高周波数帯域
比較例	21	62.5	100	100
	22	61.8	110	112
	23	62.4	115	116
	24	61.6	118	120
	25	62.0	105	107
	26	61.5	108	110
	27	62.0	103	109
	28	60.6	110	114
	29	61.8	115	116
	30	60.8	121	124
	31	60.2	115	124
	32	62.1	110	115
	33	61.7	103	116
	34	62.0	108	117
	35	61.5	109	121
	36	62.2	111	120
	37	61.8	104	115
	38	61.2	105	113
	39	62.0	113	114
	40	61.4	116	119

【0058】表7に示すように、実施例No. 1乃至20においては、鋼全体の組成及び酸化物系介在物の組成が本発明範囲内にあるため、Ti含有量が本発明範囲の上限値を超え、CaO系介在物の割合が本発明範囲の上限値を超えている比較例No. 21と比して、低い静粛性指数、即ち良好な静粛性が得られた。

【0059】一方、比較例No. 22においては、MgO系介在物の割合が本発明範囲の下限値未満であり、S

iO₂系介在物及びCaO系介在物の割合が本発明範囲の上限値を超えているため、比較例No. 21よりも静粛性が低かった。

【0060】比較例No. 23においては、MgO系介在物の割合が本発明範囲の下限値未満であり、CaO系介在物の割合が本発明範囲の上限値を超えているため、比較例No. 21よりも静粛性が低かった。

【0061】比較例No. 24においては、Ti含有量が本発明範囲の上限値を超え、Al₂O₃系介在物及びMgO系介在物の割合が本発明範囲の下限値未満であり、SiO₂系介在物及びCaO系介在物の割合が本発明範囲の上限値を超えているため、比較例No. 21よりも静粛性が低かった。

【0062】比較例No. 25においては、Ti含有量が本発明範囲の上限値を超え、Al₂O₃系介在物の割合が本発明範囲の上限を超え、MgO系介在物の割合が本発明範囲の下限値未満であるため、比較例No. 21よりも静粛性が低かった。

【0063】比較例No. 26においては、Al₂O₃系介在物の割合が本発明範囲の上限を超え、MgO系介在物の割合が本発明範囲の下限値未満であるため、比較例No. 21よりも静粛性が低かった。

【0064】比較例No. 27においては、Ti含有量及びO含有量が本発明範囲の上限値を超え、MgO系介在物の割合が本発明範囲の下限値未満であり、CaO系介在物の割合が本発明範囲の上限値を超えているため、比較例No. 21よりも静粛性が低かった。

【0065】比較例No. 28においては、Ti含有量及びO含有量が本発明範囲の上限値を超え、CaO系介在物の割合が本発明範囲の上限値を超えているため、比較例No. 21よりも静粛性が低かった。

【0066】比較例No. 29においては、Ti含有量が本発明範囲の上限値を超え、MgO系介在物の割合が本発明範囲の下限値未満であり、CaO系介在物の割合が本発明範囲の上限値を超えているため、比較例No. 21よりも静粛性が低かった。

【0067】比較例No. 30においては、C含有量が本発明範囲の下限値未満であるため、比較例No. 21よりも静粛性が低かった。

【0068】比較例No. 31においては、C含有量が本発明範囲の上限値を超えているため、比較例No. 21よりも静粛性が低かった。

【0069】比較例No. 32においては、Si含有量が本発明範囲の上限値を超えているため、比較例No. 21よりも静粛性が低かった。

【0070】比較例No. 33においては、Mn含有量が本発明範囲の上限値を超えているため、比較例No. 21よりも静粛性が低かった。

【0071】比較例No. 34においては、Cr含有量が本発明範囲の下限値未満であるため、比較例No. 2

1よりも静粛性が低かった。

【0072】比較例No. 35においては、Cr含有量が本発明範囲の上限値を超えているため、比較例No. 21よりも静粛性が低かった。

【0073】比較例No. 36においては、Al含有量が本発明範囲の上限値を超えているため、比較例No. 21よりも静粛性が低かった。

【0074】比較例No. 37においては、介在物の総質量に対する Al_2O_3 系介在物の質量の割合が本願発明範囲の下限値未満であり、それに伴ってMgO系介在物の質量の割合が本発明範囲の上限値を超えているため、比較例No. 21よりも静粛性が低かった。

【0075】比較例No. 38においては、介在物の総質量に対する Al_2O_3 系介在物の質量の割合が本願発明範囲の下限値未満であるため、比較例No. 21よりも静粛性が低かった。

【0076】比較例No. 39においては、介在物の総質量に対するCaO系介在物の質量の割合が本願発明範囲の上限値を超えているため、比較例No. 21よりも静粛性が低かった。

【0077】比較例No. 40においては、介在物の総

質量に対する SiO_2 系介在物の質量の割合が本願発明範囲の上限値を超えているため、比較例No. 21よりも静粛性が低かった。

【0078】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明によれば、母材の組成だけでなく、その内部に存在する酸化物系介在物の組成をも適切に規定しているので、安定して良好な音響特性及び静粛性を得ることができる。このため、精密機器にとって重要な特性である音響特性及び静粛性が優れた小型の転がり軸受を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】近接した介在物が存在する場合のそれらの長径の特定方法を示す模式図である。

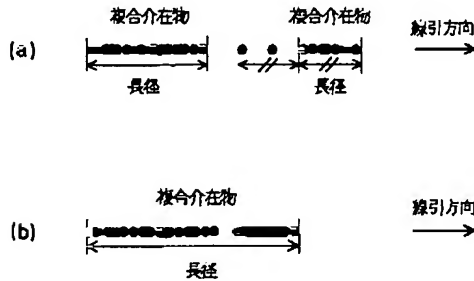
【図2】 SiO_2 系介在物の含有量と静粛性指数との関係を示すグラフ図である。

【図3】CaO系介在物の含有量と静粛性指数との関係を示すグラフ図である。

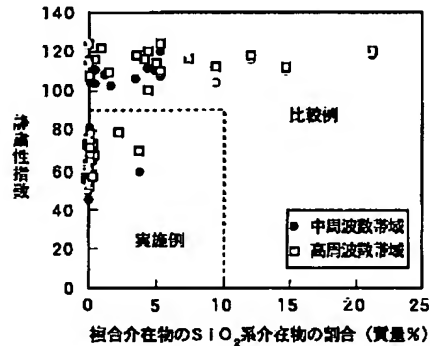
【図4】MgO系介在物の含有量と静粛性指数との関係を示すグラフ図である。

【図5】最大介在物径 \sqrt{AREMax} と静粛性指数との関係を示すグラフ図である。

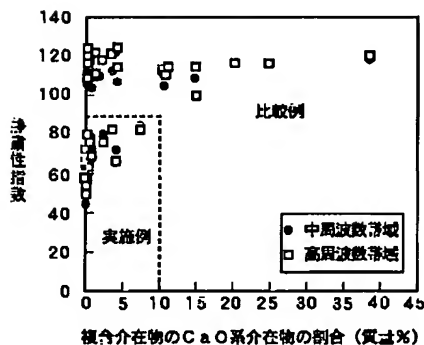
【図1】



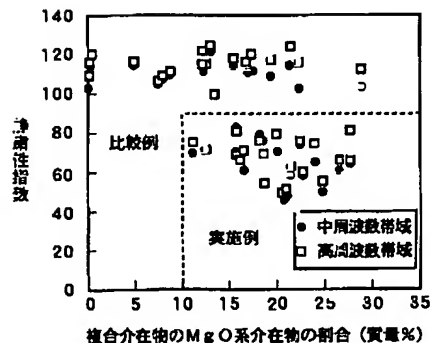
【図2】



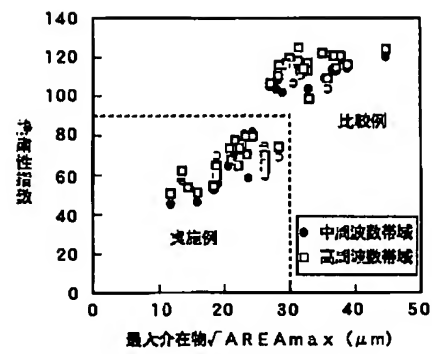
【図3】



【図4】



【図5】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.